

评分：_____



上海大学

SHANGHAI UNIVERSITY

《宇宙与时间》课程论文

COURSE PAPER

释放物质的天体——白洞

学 院	_____ 社区学院 _____
专 业	_____ 理工一类 _____
学 号	_____ 23121677 _____
学生姓名	_____ 范舒舰 _____

任课教师评语：

释放物质的天体——白洞

摘要： 本文将从牛顿提出万有引力开始，逐步介绍黑洞的提出、黑洞的理论基础以及黑洞的发现。同时，探讨了白洞作为黑洞时间上的反演的理论，并列举了一系列白洞的猜想。通过对已知理论的分析，找出了这些猜想中存在的理论差异。最后，本文提出了对白洞的个人猜想，并且阐述了这种猜想的合理性。

关键词： 黑洞，白洞

一. 黑洞

爱因斯坦于 1915 年提出广义相对论。在广义相对论中，白洞是黑洞在时间上反演的一种天体。想要了解白洞发的有关理论，了解黑洞的前世今生或不可缺。

黑洞的发现需要追溯到牛顿时期。

17 世纪，牛顿坐在苹果树下面看到苹果掉下来，万有引力被发现了。他由此写下了万有公式。

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

在此基础之上，牛顿得到了人们所熟知的逃逸速度公式。

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

在此之后，拉普拉斯想象在宇宙当中有可能会存在着一种致密的天体，其引力场非常强大，甚至连光都无法逃离，更别说它自身能否发出光了。而这种天体，就是拉普拉斯眼中的黑洞。

到 20 世纪初，爱因斯坦首先提出了狭义相对论，在十年之后又提出了广义相对论，广义相对论是一种描述引力的理论。1915 年 11 月爱因斯坦提出的爱因斯坦引力场方程描述的就是处于时空中的物质是如何影响其周围的时空几何，并成为了爱因斯坦的广义相对论的核心。

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

$G_{\mu\nu}$ 称为爱因斯坦张量，

$R_{\mu\nu}$ 是从黎曼张量缩并而成的里奇张量，代表曲率项；

R 是从里奇张量缩并而成的标量曲率(或曲率标量)；

$g_{\mu\nu}$ 是从(3+1)维时空的度规张量；

$T_{\mu\nu}$ 是能量-动量-应力张量，

G 是牛顿重力常数，

c 是真空中光速。

通过克里斯托弗联络求解 $g_{\mu\nu}$ ，利用黎曼张量得到 $R_{\mu\nu}$ ，通过一系列的计算，之后的一年史瓦西通过求解爱因斯坦场方程，得到了一个描述黑洞的解决方案，即史瓦西度规。以下是从爱因斯坦方程中，在球坐标 $\{t, r, \theta, \phi\}$ 下得到的史瓦西度规的一个解。

$$ds^2 = -\left(1 + \frac{\mu}{r}\right)dt^2 + \frac{1}{1 + \frac{\mu}{r}}dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)$$

爱因斯坦在写下他的爱因斯坦场方程以后，自己都不相信这个方程有解，但是史瓦西通过计算证明出了其中的一个解。人类对黑洞的研究又迈出了一大步。

史瓦西度规描述了一个球对称的非旋转黑洞的度规形式。它的数学表达式包含一个奇点，即黑洞的事件视界，这是一个区域，在这个区域内，光甚至物质都无法逃离黑洞。史瓦西度规还包含一个史瓦西半径，它是一个与黑洞质量和引力常数有关的参数，决定了黑洞的大小。

在史瓦西得到这个解之后爱因斯坦方程又得到了许多明确解，都只适用于史瓦西黑洞这种静止的黑洞。



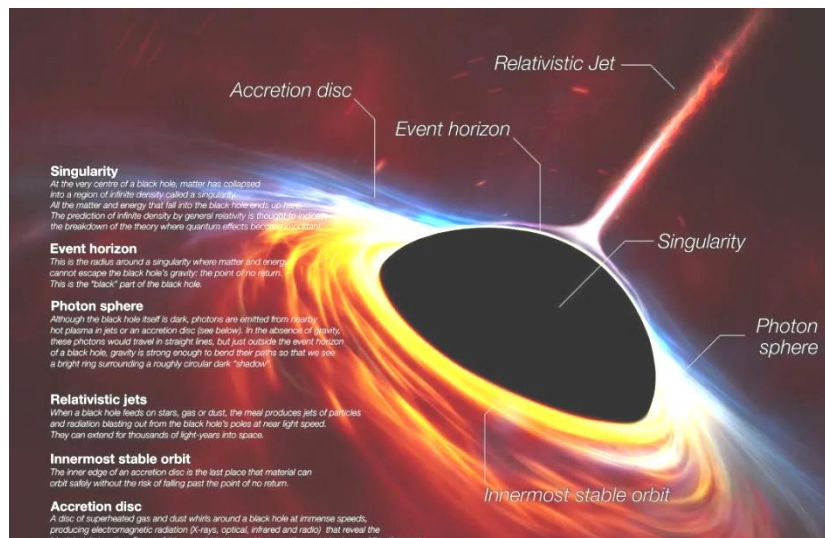
史瓦西黑洞

而后的几十年间，黑洞研究的进展其实非常缓慢。

在 20 世纪 30 年代末，奥文海默和施奈德考虑了恒星的引力塌缩过程。通过求解爱因斯坦场方程以及史瓦西度规，他们得到了一个描述引力塌缩的方程，即奥文海默-施奈德方程。

$$e^v \simeq e^{\lambda - \frac{2t}{r_0}} \left\{ e^{-\frac{t}{r_0}} + \frac{1}{2} \left[3 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 \right] \right\}$$

通过分析奥文海默-施奈德方程，奥文海默和施奈德发现，在引力塌缩过程中，如果恒星的质量超过一个临界值，就会形成一个无法逃逸的奇点，即黑洞。而这个临界值被称为奥文海默-施奈德临界质量，或称为奥文海默极限。



旋转的黑洞

之后的研究里罗伊·克尔通过数学求解的方式第一次精确得到了爱因斯坦场方程的带有旋转黑洞的精确解。1964 年，观测发现了第一颗恒星级黑洞。约翰·惠勒推广了黑洞这个名字，且提出了虫洞这个名词。

对于质量为 M ，角动量为 J 的旋转黑洞，比角动量 a ：

$$a = \frac{J}{Mc}$$

克尔度规

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g r}{\rho^2}\right) c^2 dt^2 + \frac{2r_g r}{\rho^2} a \sin^2 \theta d\phi c dt - \frac{\rho^2}{\Delta} dr^2 - \rho^2 d\theta^2 - (r^2 + a^2 + \frac{r_g r}{\rho^2} a^2 \sin^2 \theta) \sin^2 \theta d\phi^2$$

其中 $\Delta \equiv r^2 - r_g r + a^2$

$$\rho^2 \equiv r^2 + a^2 \cos^2 \theta$$

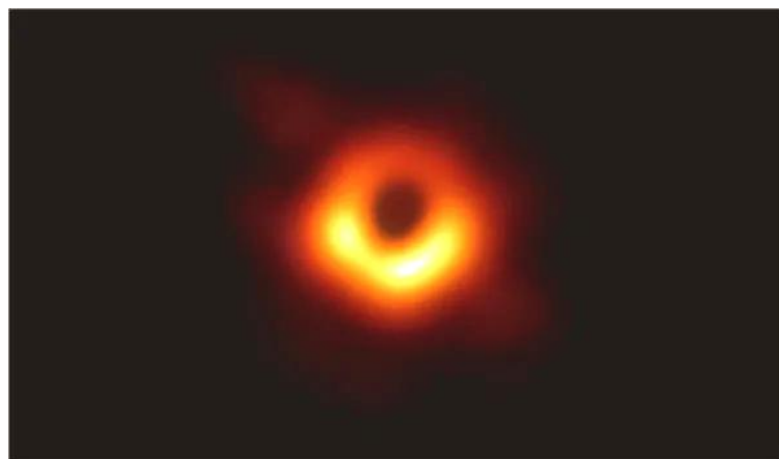
$$r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

对于黑洞，它可以说是宇宙当中最为神奇，也是最为简单的一类天体。

惠勒和鲁菲尼提出了“黑洞无毛假设”：不具备任何对称性的初始引力系统，经过引力塌缩最终会形成一个稳态轴对称的简单系统——黑洞。是在引力塌缩后，只留下质量、角动量、和电荷这三个量。也就是只需要 3 个物理量就可以描述黑洞，一个是它的质量，一个是它的转动，另外一个就是它的电荷。

在宇宙当中，气体几乎都是以等离子体状态存在，会存在非常多的自由电荷。如果一个黑洞带电，那很容易吸附周围的带电粒子而达到电力平衡。所以最终只剩下两个物理量，一个质量，一个转动，这个时候，就可以通过克尔度规来完整描述天体物理学当中的黑洞，科学家主要的任务就是测量黑洞的这两个基本量。

之后，霍金在研究了黑洞事件视界截面面积的演化，并发现这个面积是不减的。黑洞无毛定理表明黑洞的形成会导致熵的丢失。为了解决熵丢失的问题，贝肯斯坦提出黑洞的熵应该正比于黑洞事件视界截面的面积。霍金与巴丁和卡特建立了黑洞的力学四定律，证明了黑洞存在热辐射，即超辐射，即使是所有类型的黑洞都会辐射出粒子，而且无限远处观测者看到的辐射粒子的谱是一个热谱，相应的温度正比于黑洞的表面引力，这就是霍金辐射。量子效应被考虑进来之后，黑洞的力学四定律变成了真实的热力学四定律。但霍金辐射的存在也表明黑洞会因为这种量子效应丢失能量，并最终变成一堆辐射物质，黑洞会完全蒸发。之后便存在了黑洞信息丢失疑难这一问题。



2019年4月10日拍摄到的M87黑洞

2017年的诺贝尔物理奖颁给了发现引力波的雷纳德·韦斯特、巴里·巴里什

和基普·索恩。2020年的诺贝尔物理奖颁给了证明黑洞是广义相对论的必然结果的罗杰·彭罗斯以及发现了银河系中心的超大质量黑洞的安德烈·海姆和雷因哈德·格尼泽尔。他们用实际证明了前人理论上的正确。

而历史上的黑洞研究到此也就告一段落了。有了以上黑洞的知识基础，下面便能够进入白洞的猜想了。

二. 白洞

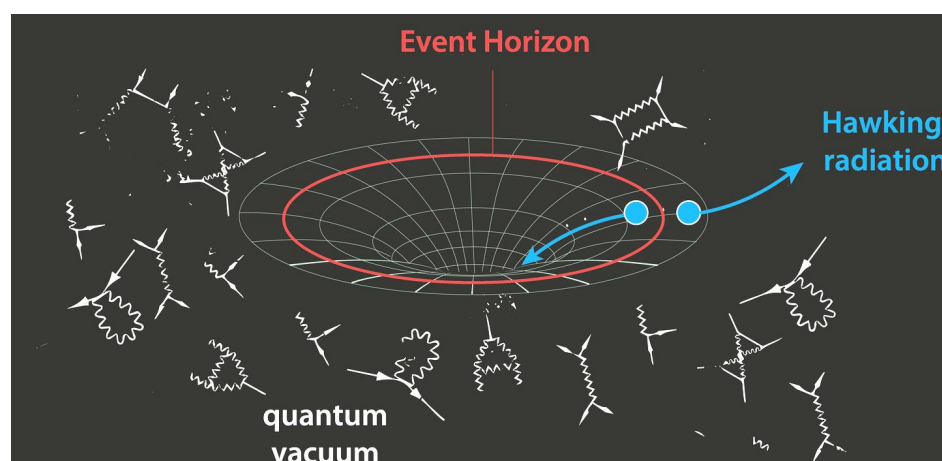
在广义相对论中白洞是一个理论概念，它被认为是黑洞的时间反演。换句话说，黑洞是物质和能量被引力坍缩到一个无限密度的点，从黑洞的视角来看，白洞是物质和能量从一个奇点中喷发出来的。

黑洞和白洞是由于引力场的强度不同而产生的。黑洞的引力场非常强大，吸引一切物质和能量，而白洞则是从一个无限密度的点中释放出物质和能量，形成一个强大的排斥力。

我们暂时无法理解事件视界里面的事情，于是便诞生了许多关于白洞的猜想。

在时空正演之上，所有进入事件视界的物质一定会因为黑洞引力而进入内视界，即进入奇点。而时空反演，则是物质从奇点当中诞生，被抛出内视界与事件视界。

让我们根据目前的广义相对论，反演出时间上的白洞，不难得出，若存在这样一个天体，其事件视界中的所有物质与信息在某一时刻凭空产生，被奇点的排斥力赋予一定的初动量排离白洞视界。考虑热辐射气体有一定几率发生涨落，部分辐射坍缩成黑洞，黑洞释放霍金辐射消失，那么在白洞的反演则是，宇宙空间中的热辐射凭空走进白洞视界湮灭掉，产生白洞，然后又把辐射喷出来，而把辐射喷出来这一事件便是黑洞当中霍金辐射的演化的加速版本。若是承认白洞是黑洞的时间反演，依然会得出一些难以解释的概念，如：一个存在已久的白洞突然



事件视界与霍金辐射

喷射出物质，时间上的正演此时是黑洞吞噬物质；一个从白洞出来的观察者能够带有凭空产生的信息，时间上的正演此时是黑洞吞噬信息。

但是，当我们把 $r=0$ 带入史瓦西解时，我们便能发现一种静态黑洞，不存在电荷、不存在旋转、不存在变化，在时间上它是永恒不变的，也就是反演与正演是相同的。再者，根据霍金辐射，越小的黑洞，其比表面积越大，使得表面量子涨落形成正反粒子导致黑洞蒸发也就越快，这种质量小的黑洞是否也是某种意义上的白洞？即使是质量大的黑洞，也逃不出霍金辐射的诅咒最终蒸发，若是将时间加速，黑洞也是在源源不断地喷射物质，只不过这个物质诞生的速度变得均匀，而非反演上的凭空产生。

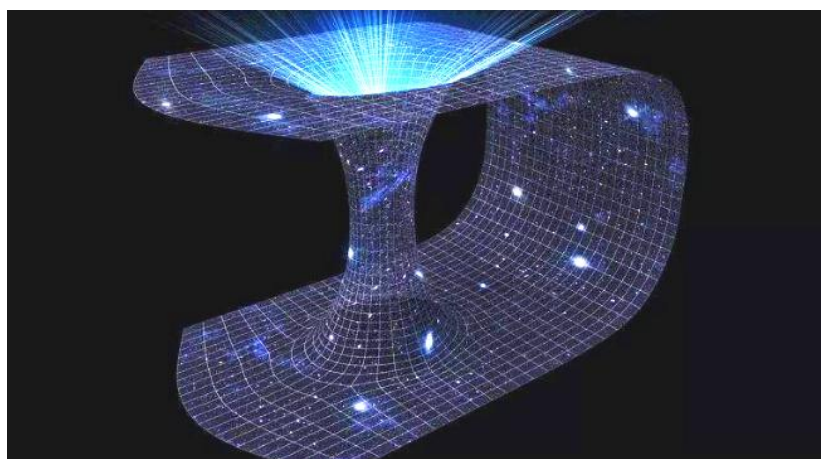
1964年，诺维科夫在研究引力场方程的解，他发现在某种条件下，可以存在着一种白洞。也就是粒子被黑洞吸进去，从白洞喷出来。

有人也设想过，类星体就是白洞。尼尔·格雷尔斯雨燕空间天文台探测到了一次强烈的伽马射线暴，按理应该来自超大质量恒星坍缩成黑洞，但是这次事件却没有找到任何超新星出现的迹象。有人则猜想这次伽马射线暴来自于白洞。

让我们做出更加激进的猜想：我们的宇宙本就是一个白洞。

有人计算了可观测宇宙的史瓦西半径，发现恰好是约 137 亿光年，这更是支撑了宇宙黑洞论。在宇宙大爆炸之前，宇宙便以一个“白洞”存在在五维时空当中，根据白洞是黑洞的时间反演，大爆炸瞬间因为斥力释放了白洞中所有的物质，从而形成了我们这个四维时空。

关于虫洞的理论当中也存在着白洞的身影。当我们进入黑洞的事件视界时，便是进入了一个五维时空的虫洞，在同时从虫洞另一头的白洞的事件视界中穿出，白洞担任的则是空间穿梭的出口。



虫洞

三. 猜想

关于白洞，认同度最高的广义相对论也无法完善给出的时间反演的黑洞这一假说。在认可时间反演的同时，又不能笼统的归为一个相同的爱因斯坦场方程解。以下的是几个我关于白洞的猜想。

白洞，相反与黑洞。假定它是一类天体，黑洞是具有引力的致密物质形成的天体，而白洞则是具有斥力的致密物质形成的天体，目前关于斥力的研究基本上都是引力的传递导致的斥力，若是能够找到关于斥力的物质，那白洞便能够被理论预测了。而这种物质，也许是暗物质。我们知道，宇宙目前正在不断加速扩张，而扩张的动力正是暗能量。而暗物质并不会聚合，所以只能排除斥力这一说法。或者，在我们能够一统四大基本力时，才能探究斥力的根源。



白洞

假定它存在形式与黑洞一致。白洞也许确实是一个超大质量黑洞奇点的投影，引力坍缩产生黑洞奇点，奇点因为具有无穷大的密度从而能够扭曲时空，投影到另一个坐标。因为黑洞半径超过一个阈值，使得奇点影响时空程度超过了黑洞半径从而让奇点投影到黑洞之外，产生一个白洞。而这个超大质量黑洞因为超越了这个阈值，又瞬间将奇点内所有物质坍缩到映射的白洞当中。物质在白洞中即刻爆发，也就是宇宙大爆炸。猜想当中的白洞符合黑洞反演的性质，也解释了为什么我们无法观测到白洞，因为白洞只能在宇宙诞生之初观测到。

因为我们无法解释奇点的存在，所以我们只能猜想。也许白洞是平行宇宙的垃圾桶，平行宇宙的人可以通过开一个虫洞往我们的宇宙投放物质；也许白洞是一个违反所有发现物理规则的逆熵天体，它不仅仅凭空产生物质，还能凭空使物质有序，使时间倒流。就像我们无法理解量子涨落一样，真空当中凭空出现的

正负粒子对是违反热力学的，而白洞，也只是一个比较大的正负粒子对，它的反粒子在时空当中的黑洞坍塌的一刻产生。

参考文献：

蔡荣根,曹利明.黑洞的本质[J].科学通报,2016,61(19):2083-2092.

黑洞揭秘[J]. 刘声远.大自然探索,2022(04)

刘元,廖进元,易疏序等.电影《星际穿越》中的科学问题——黑洞、白洞和虫洞[J].现代物理知识,2015,27(03):57-63.DOI:10.13405/j.cnki.xdwz.2015.03.015.

苟利军.黑洞研究的历史.光明日报.2019-11-28

敖力布.白洞的来龙去脉[J].现代物理知识,1992(03):40-41.

赵亚丽,朱巧军,高建平等.恒星的演化与黑洞和白洞的研究进展[J].天水师范学院学报,2009,29(05):79-81.

傅裕寿.黑洞、白洞、太空飞行[J].力学与实践,1992(03):68-71.

A Brief History of Time, Stephen Hawking, Bantam Books, 1988.

Schwarzschild, K. (1916). Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, 189-196.

Oppenheimer, J.R., & Snyder, H. (1939). On Continued Gravitational Contraction of Stars. Physical Review, 56(5), 455-459.